



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105643394 B

(45)授权公告日 2018.12.11

(21)申请号 201610021736.6

(22)申请日 2016.01.14

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105643394 A

(43)申请公布日 2016.06.08

(73)专利权人 长春设备工艺研究所  
地址 130012 吉林省长春市朝阳区湖光路  
738号

(72)发明人 王大森 吴庆堂 聂凤明 郭波  
吴焕 李珊 修冬 康战 段学俊  
王凯 卢政宇 陈洪海 魏巍  
王文渊 孙洪宇 王泽震 胡宝共

(51)Int.Cl.  
B24B 13/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 104772661 A,2015.07.15,说明书背景  
技术.

CN 103331671 A,2013.10.02,全文.

CN 103231297 A,2013.08.07,全文.

US 2587926 A,1952.03.04,全文.

张学忱等.基于大口径光学非球面精密磨削  
过程的检测技术研究.《制造业自动化》.2012,  
45-49.

审查员 杨素双

权利要求书1页 说明书4页 附图1页

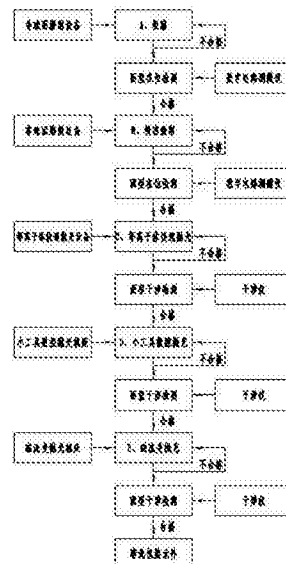
(54)发明名称

一种中大口径非球面光学元件高效高精度  
先进制造技术工艺流程

(57)摘要

本发明公开了一种中大口径非球面光学元  
件高效高精度先进制造技术工艺流程,包括如下  
流程:A、粗磨、B、精密磨削、C、等离子体快速抛  
光、D、小工具数控抛光、E、磁流变抛光。A、粗磨,  
可去除大部分加工余量,提高加工效率;B、精密  
磨削加工,磨削后满足基本的非球面形状精度;  
C、等离子体快速抛光,在保持元件面形精度的前  
提下,提高表面质量,形成光学表面;D、小工具数  
控抛光,提高元件面形精度,去除大部分抛光余  
量;E、磁流变抛光,提高面形精度、降低表面粗  
糙度,达到符合元件面型精度要求的技术指标。本  
发明的加工工艺流程可实现中大口径非球面光  
学元件高精度、可控、高效加工,具有缩短加工周  
期,批量生产的优点。

CN 105643394 B



1. 一种中大口径非球面光学元件高效高精度先进制造技术工艺流程, 其特征在于: 采用如下工艺流程: A、粗磨、B、精密磨削、C、等离子体快速抛光、D、小工具数控抛光、E、磁流变抛光;

A、粗磨, 可去除大部分加工余量, 提高加工效率, 分为: 粗磨修外形、粗磨形成非球面面形;

B、精密磨削加工, 分为: 半精密磨削加工和精密磨削加工, 采用包络磨削技术对粗磨后的光学元件进行精密磨削加工, 磨削后满足基本的非球面形状精度, 磨削加工后的面形精度 $\leq 4$ 微米; A、粗磨以及B、精密磨削加工加工周期一共为5天;

C、等离子体快速抛光, 采用大气射流等离子体方法进行快速抛亮, 去除磨削表面的缺陷, 在保持元件面形精度的前提下, 提高表面质量, 形成光学表面, 满足光学元件光学干涉检测的要求; 等离子体快速抛光后的表面粗糙度 $R_q \leq 50$ 纳米, 加工周期为6天;

D、小工具数控抛光, 采用抛光模柔性控制技术, 修整元件面形, 提高元件面形精度, 去除大部分抛光余量, 抛光完后的面形精度 $\leq \lambda/2$ , 其中 $\lambda=0.6328$ 微米, 表面粗糙度 $R_q \leq 1.2$ 纳米, 加工周期为10天;

E、磁流变抛光, 采用磁流变抛光工艺技术精密抛光元件面形, 提高面形精度、降低表面粗糙度, 达到元件的最终精度指标要求, 最终面形精度PV值 $\leq \lambda/10$ , RMS值 $\leq \lambda/70$ , 其中 $\lambda=0.6328$ 微米, 表面粗糙度 $R_q \leq 1$ 纳米, 加工周期为4天。

2. 根据权利要求1所述的一种中大口径非球面光学元件高效高精度先进制造技术工艺流程, 其特征在于: 所述工艺流程中A、粗磨及B、精密磨削均需进行面型在位检测, 直至合格转入流程C、等离子体快速抛光; 所述工艺流程中C、等离子体快速抛光需进行面型干涉检测, 直至合格转入流程D、小工具数控抛光; 所述工艺流程中D、小工具数控抛光需进行面型干涉检测, 直至合格转入流程E、磁流变抛光; 所述工艺流程中E、磁流变抛光需进行面型干涉检测, 直至达到符合元件面型精度要求的技术指标。

## 一种中大口径非球面光学元件高效高精度先进制造技术工艺流程

### 技术领域

[0001] 本发明涉及“一种中大口径非球面光学元件高效高精度先进制造技术工艺流程”，特别适用于口径大于330毫米×330毫米以上的中大口径非球面光学元件超精密加工。

### 背景技术

[0002] 中大口径非球面的制造非常复杂，国外在中大口径非球面光学元件加工技术领域，先后发展了超精密磨削技术、确定性平面面形数控抛光技术、非球面小工具数控抛光技术、磁流体抛光技术、等离子体抛光技术、离子束抛光技术等新技术。已经掌握了相关工艺设备、单项工艺技术及应用的工艺技术。

[0003] 我国中大口径光学元件制造工艺装备普遍比较落后，大量采用单轴摆式的古典法研磨系统，加工精度极度依赖于技术人员的经验，产品精度重复性较差、效率低，加工一片 $\Phi 500$ 毫米非球面镜需要半年以上时间。二十世纪九十年代以后引进了一批较先进的加工设备，初步具备了非球面光学元件的制造能力，但加工尺寸范围比较小( $\Phi 300$ 毫米以下)，只适合加工中小口径非球面光学元件。

[0004] 所查相关文献中，有关于非球面光学元件加工工艺方面的研究报导，其中涉及到磨削、大气等离子体抛光、磁流变抛光等文献报导。

[0005] 陈建平等在“中国激光”发表文献“大口径非球面镜加工建模与控制技术”文献、韩成顺等在“光电工程”发表文献“超精密磨削大型光学非球面元件的研究”、张学忱等在“工程图学学报”发表文献“基于轴对称非球面元件的加工模型研究”、李洁等在“金刚石与磨料磨具工程”发表文献“大口径方形非球面镜的高效磨削技术研究”、赵磊生等在“许昌学院学报”发表文献“大口径非球面光学元件磨削控制系统的研究”、吕寻可在“长春理工大学”发表文献“大口径光学非球面超精密磨削机床结构设计”、长春设备工艺研究所申请专利CN201310314323.3“一种应用于中大口径非球面光学元件的点线包络磨削方法”，以上文献中均提交采用磨削工艺技术。

[0006] 贺启强在“哈尔滨工业大学”发表文献“计算机控制大气等离子体光学加工方法研究”、哈尔滨工业大学申请专利CN201310177039.6“水电极大气等离子体加工大口径非球面光学零件的方法”，以上文献提及采用大气等离子体抛光技术。

[0007] 左巍等在“高陡度非球面光学元件加工技术研究”发表文献提及采用单点金刚石车削(DPT)、金刚石磨削、确定性微研磨(DMG)、磁流变抛光(MRF)和射流抛光等先进制造技术。

[0008] 程颢波等在“清华大学学报(自然科学版)”发表文献“磁流变抛光光学非球面元件表面误差的评价”、袁志刚等在“制造业自动化”发表文献“磁流变数控抛光技术研究”提及磁流变抛光技术。

[0009] 上述文献虽然提及国内加工大口径非球面光学元件在一些单项工艺设备、单项工艺技术方面具备了相关的研究基础，但是很多新技术还处于实验研究阶段。整套加工工艺

不完善,缺少高效精密加工工艺和整套加工工艺规范,在工程应用方面工艺技术的成套性差、工程化程度低、制造质量和制造效率低。

### 发明内容

[0010] 本发明的目的在于:

[0011] 本发明要解决的技术问题是克服现有中大口径非球面光学元件加工工艺技术的成套性差、工程化程度低、制造质量和制造效率低的问题,提供一种中大口径非球面光学元件加工工的高效、高精度先进制造技术工艺流程。

[0012] 为解决上述技术问题,本发明提出的技术方案为:

[0013] 本发明的实施例选取口径为430毫米×430毫米非球面光学元件,其工艺流程为:A、粗磨、B、精密磨削、C、等离子体快速抛光、D、小工具数控抛光、E、磁流变抛光。

[0014] A、粗磨,可去除大部分加工余量,提高加工效率,分为:粗磨修外形、粗磨形成非球面面形; B、精密磨削加工,分为:半精密磨削加工和精密磨削加工,采用包络磨削技术对粗磨后的光学元件进行精密磨削加工,磨削后满足基本的非球面形状精度,磨削加工后的面形精度 $\leq 4$ 微米;A、粗磨以及B、精密磨削加工加工周期一共为5天;C、等离子体快速抛光,采用大气射流等离子体方法进行快速抛亮,去除磨削表面的缺陷,在保持元件面形精度的前提下,提高表面质量,形成光学表面,满足光学元件光学干涉检测的要求;等离子体快速抛光后的表面粗糙度 $R_q \leq 50$ 纳米,加工周期为6天;D、小工具数控抛光,采用抛光模柔性控制技术,修整元件面形,提高元件面形精度,去除大部分抛光余量,抛光完后的面形精度 $\leq \lambda/2$  ( $\lambda=0.6328$ 微米),  $R_q \leq 1.2$ 纳米,加工周期为10天; E、磁流变抛光,采用磁流变抛光工艺技术精密抛光元件面形,提高面形精度、降低表面粗糙度,达到符合元件面型精度要求的技术指标,最终面形精度 $\leq \lambda/10$  (PV值)、 $\lambda/70$  (RMS值), ( $\lambda=0.6328$ 微米),表面粗糙度 $R_q \leq 1$ 纳米,加工周期为4天。

[0015] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0016] 针对口径大于330毫米×330毫米以上的非球面光学元件,本发明建立以粗磨—精密磨削—等离子体快速抛光—小工具数控抛光—磁流变抛光为工序的成套工艺流程,可实现中大口径非球面光学元件高精度、可控、高效加工,加工430×430毫米非球面光学元件,从磨削元件到抛光后最终面形精度达到 $0.1\lambda$  (PV值) ( $\lambda=0.6328$ 微米),  $0.012\lambda$  (RMS值),表面粗糙度达到 $R_q 0.96$ 纳米;加工430×430毫米光学元件的整个工艺流程周期由8周 ( $\lambda/4$ ) 缩短到5周 ( $\lambda/10$ ),并形成批量生产,达到工程化生产应用能力。

### 附图说明

[0017] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0018] 图1是本发明的工艺流程图,也是本发明的主要技术方案图。

### 具体实施方式

[0019] 以下结合说明书附图和具体实施例对本发明作进一步描述:

[0020] 参照图1,本发明的实施例选取口径为430毫米×430毫米的非球面光学元件,按如下工艺流程进行:

[0021] A、粗磨,主要为了提高加工效率,去除大部分加工余量。分为:粗磨修外形、粗磨形成非球面面形。

[0022] 粗磨加工分为两次加工:(1)第一次粗磨修外形主要是整体加工出非球面的外形轮廓:采用80<sup>#</sup>金属结合剂金刚石砂轮进行磨削加工,砂轮转速1327转/分,工件转速10转/分,切深0.2毫米,进给量10~30毫米/分,进给6次,磨削量1.2毫米。

[0023] (2)第二次粗磨形成完整的非球面面形,进行面形检测,为后续半精磨提供检测及补偿数据:采用80<sup>#</sup>金属结合剂金刚石砂轮进行磨削加工,砂轮转速1327转/分,工件转速10转/分,切深0.2毫米~0.3毫米,进给量10~30毫米/分,0.2毫米切深进给16次,0.3毫米切深进给5次,最后空行走1次,磨削量4.7毫米。

[0024] 粗磨完成后,使用数字电感测微仪进行在位检测,测量路径为沿母线方向进行直线运动检测,面型检测符合要求转入精密磨削加工,不合格重新进行粗磨加工,直至合格为止。

[0025] 所需设备:自主研发的高精度、高刚性非球面磨削设备,数字电感测微仪。

[0026] B、精密磨削加工,采用包络磨削技术对粗磨后的光学元件进行精密磨削加工,磨削后满足基本的非球面形状精度,磨削加工后的面形精度 $\leq 4$ 微米。

[0027] 精磨加工分为两次加工:半精密磨削加工和精密磨削加工。

[0028] (1)半精密磨削加工:采用91<sup>#</sup>金刚石砂轮进行半精密磨削加工,砂轮转速1327转/分、工件转速10转/分,切深0.05毫米~0.1毫米,进给量20毫米/分,0.05毫米切深进给10次,0.1毫米切深进给5次,最后空刀行走1次,磨削量1毫米。

[0029] (2)精密磨削加工:采用15A金刚石砂轮进行精密磨削加工,砂轮转速1861转/分,工件转速10转/分,切深0.005毫米,进给量12毫米/分,进给8次,磨削量15微米。

[0030] 精密磨削完成后,使用数字电感测微仪进行在位检测,测量路径为沿母线方向进行直线运动检测,面型检测符合要求转入等离子体快速抛光,不合格重新进行精密磨削加工,直至合格为止。

[0031] 所需设备:自主研发的高精度、高刚性非球面磨削设备,数字电感测微仪。

[0032] A、粗磨以及B、精密磨削加工加工周期一共为5天。

[0033] C、等离子体快速抛光,采用等离子体抛光工艺技术对精密磨削后的非球面光学元件进行快速抛亮,去除磨削表面的缺陷,在保持元件面形精度的前提下,提高表面质量,形成光学表面,满足光学元件光学干涉检测的要求;等离子体快速抛光后的表面粗糙度 $R_q \leq 50$ 纳米,加工周期为6天。

[0034] 采用大气射流等离子体方法加工工件: $N_2$ 气压0.2MPa,流量20SLM; $SF_6$ 气体压力0.22MPa,流量700SCCM;等离子体发生器功率600W,工作距离4mm,等离子体抛光头运动速度为240毫米/分,去除1遍后,表面灰色物质被去除,元件已经透亮,但是磨削痕迹和刀纹依然明显,再次进行等离子体抛光,共去除6遍后,元件表面透亮磨削痕迹减弱。

[0035] 等离子体快速抛光完成后,进行面型干涉检测,面型检测符合要求转入小工具数控加工,不合格重新进行等离子体快速抛光,直至合格为止。

[0036] 所需设备:等离子体快速抛光设备,干涉仪。

[0037] D、小工具数控抛光,采用抛光模柔性控制技术,修整元件面形,提高元件面形精度,去除大部分抛光余量,抛光完后的面形精度 $\leq \lambda/2$  ( $\lambda=0.6328$ 微米), $R_q \leq 1.2$ 纳米,加工

周期为10天。

[0038] 采用小工具数控抛光方法加工工件:用直径50毫米的抛光模运行数控抛光程序对工件进行面型高点修抛,止转滑块自转公转一体化双偏心抛光头带动抛光模公转转速200转/分,自转转速20转/分,偏心距离3毫米,执行抛光程序,完成抛光程序后,进行面型干涉检测,面型检测符合要求转入磁流变抛光,不合格重新进行小工具抛光,直至合格为止。

[0039] 所需设备:小工具数控抛光机床,干涉仪

[0040] E、磁流变抛光

[0041] 采用磁流变抛光工艺技术精密抛光元件面形,提高面形精度、降低表面粗糙度,达到元件的最终精度指标要求,最终面形精度 $\leq \lambda/10$  (PV值)、 $\lambda/70$  (RMS值), ( $\lambda=0.6328$ 微米),表面粗糙度 $R_q \leq 1$ 纳米,加工周期为4天。

[0042] 基于磁流变去除函数全加工区域的等效一维模型和具有多权重特性的自适应步长磁流变轨迹算法进行磁流变抛光加工,在磁流变抛光过程中保持磁流变液浓度稳定,抛光程序完成后进行面型干涉检测,不合格重新进行磁流变抛光加工,直至达到符合元件面型精度要求的技术指标。

[0043] 所需设备:磁流变抛光机床,干涉仪。

[0044] 尽管以上详细地描述了本发明的优选实施例,但是应该清楚的理解,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

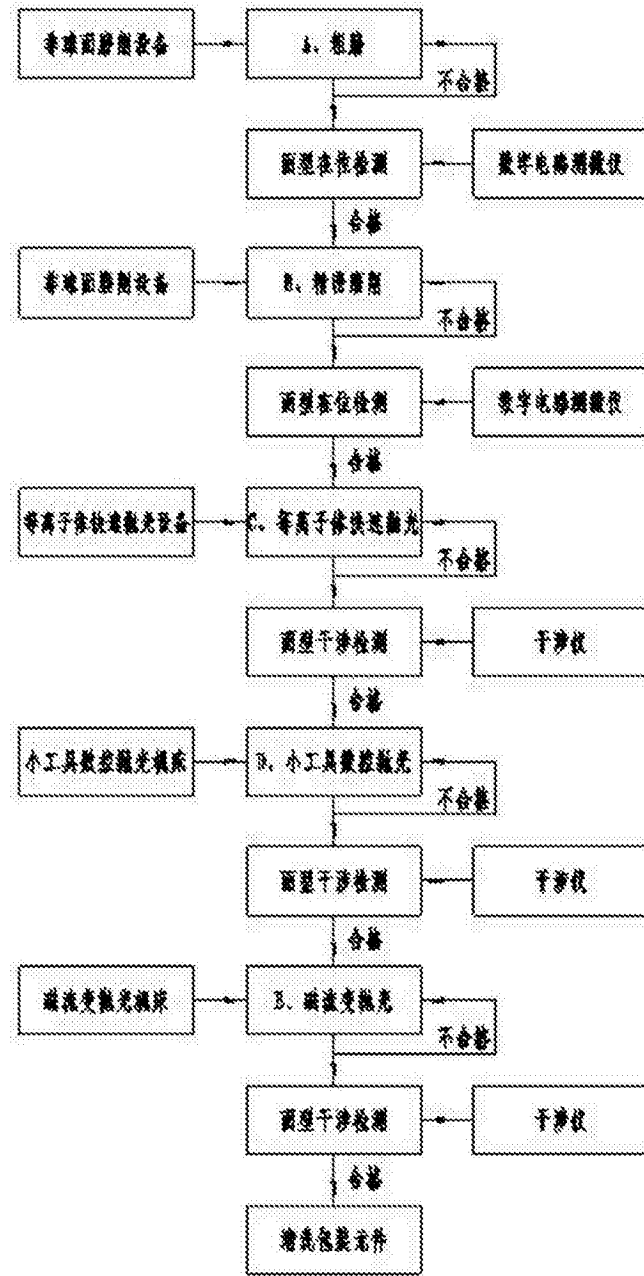


图1